

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2022.01.008

软性多孔材料圆柱降噪特性实验研究

武天皓 郭 昊 陈 旭 刘沛清*

(北京航空航天大学陆士嘉实验室(航空气动声学工业和信息化部重点实验室), 北京 100191)

摘 要: 由钝体绕流产生的气动噪声可以通过在物体表面覆盖软性多孔材料得到降低。为了证实这种方法的有效性,在北京航空航天大学 D5 气动声学风洞中,对不同直径圆柱表面覆盖软性多孔材料,在不同风速范围下开展了气动声学测量实验,并利用恒温热线测速仪对其后缘尾迹流场进行了测量。结果显示,通过在圆柱表面覆盖软性材料,可以降低由圆柱产生的气动噪声,流场结果表明软性材料延长了圆柱后缘尾迹,抑制圆柱后缘涡脱落。

关键词: 钝体噪声;柔性材料;降噪

中图分类号: V2

文献标识码: A

OSID:



0 引言

当代民用航空业正处于迅速崛起的进程中,飞机噪声已经成为众人越来越关心的问题之一^[1]。影响飞机适航噪声水平的噪声源主要包括两大类:一是机体结构产生的气动噪声,包括在起飞着陆阶段,起落架、起落架舱以及襟副翼组成的增升装置在气流作用下产生的噪声;另一类则是动力装置引起的噪声。研究机体降噪方法,特别是起落架降噪方法,对于提高我国大飞机研制能力具有显著意义。国内外相关研究表明,包裹软性多孔介质可以影响起落架附近流场,耗散声能量,抑制涡脱落,降低其产生的气动噪声^[2-9]。

1999 年, Nishimura 等人^[2]对支柱表面覆盖绒毛织物后的构型进行了风洞实验研究。Nishimura 等人于 2010 年^[3]做了更细致的关于绒毛织物降噪的实验。通过风洞实验检验了绒毛织物的哪些参数对于抑制空气动力噪音的产生是重要的。Sueki 等人^[4]将多孔材料(聚氨酯泡沫和泡沫金属)包裹在支柱外表面,使用麦克风、PIV、压力传感器进行了风洞实验。Geyer 等人^[5]将软性多孔材料覆盖在支柱表面,以此来降低支柱体(起落架、高速列车受电

弓的组成部件)流动噪声。实验研究了多孔材料的流阻率、雷诺数、来流马赫数对支柱噪声的影响。Laura 等人^[6]对背风面加装柔性翼片、绒毛的支柱进行了风洞实验。魏峥等^[7]在风洞中通过使用热线、烟线和 PIV 设备研究了多孔介质对支柱绕流尾迹区流场的影响。在针对多孔材料进行的数值计算方面, LIU Hanru 等人^[8]采用了结合二维大涡模拟和 FW-H 方程的混合算法进行计算,结果显示,支柱表面覆盖多孔材料能使噪声降低,峰值区域变窄,峰值频率移向低频,但不能完全抑制涡脱落峰值。

在本文的研究工作中,对具有较好降噪效果的绒毛织物和喷胶棉两类软性多孔材料进行了噪声和流动测量,以找出软性多孔材料的降噪特点及机制,为今后应用在大型飞机起落架提供重要的参考价值。

1 实验设备

1.1 D5 气动声学风洞

本次实验在北京航空航天大学 D5 气动声学风洞中进行。D5 气动声学风洞是一座低速、低湍流度、低噪声回流气动声学风洞,开口试验段风速为 0 m/s ~ 80 m/s,风洞来流湍流度小于 0.08%。风

基金项目: 国家自然科学基金(12072016, 11772033, 1217021666 和 11721202)

* 通信作者: E-mail: lpq@buaa.edu.cn

引用格式: 武天皓,郭昊,陈旭,等. 软性多孔材料圆柱降噪特性实验研究[J]. 民用飞机设计与研究,2022(1):77-82. WU T H, GUO H, CHEN X, et al. Experimental investigation on Reduction of cylinder noise by soft porous material[J]. Civil Aircraft Design and Research,2022(1):77-82(in Chinese).

洞总体长度 25.58 m, 宽度 9.2 m, 高度 3.0 m。实验段截面为正方形, 截面宽度 1.0 m, 高度 1.0 m, 如图 1 所示; 闭口实验段长度 2.5 m, 开口实验段长度 2.0 m, 集气口切换段长度 0.5 m。

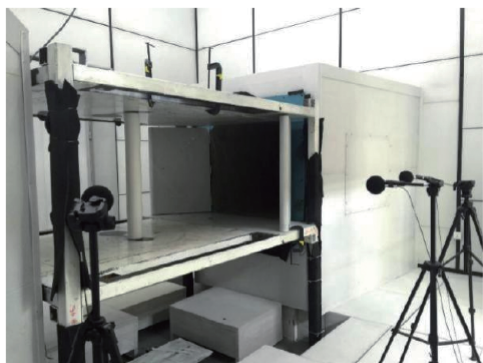


图 1 D5 风洞实验段

1.2 热线测量

如图 2 所示, 使用 Dantec 公司生产的 55P11 探针和二维 (55p61) 热线探头进行热线实验。采样频率为 25 600 Hz, 每次采样时间为 50 s。

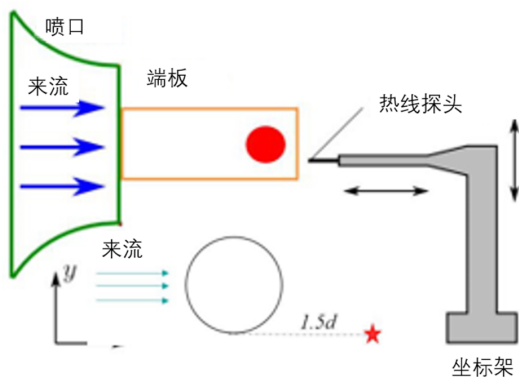


图 2 探针摆放位置示意图

1.3 噪声测量

使用 BK 麦克风进行远场噪声测量, 安放位置如图 3 所示。采样时长均为 50 s, 采样频率为 25 600 Hz。

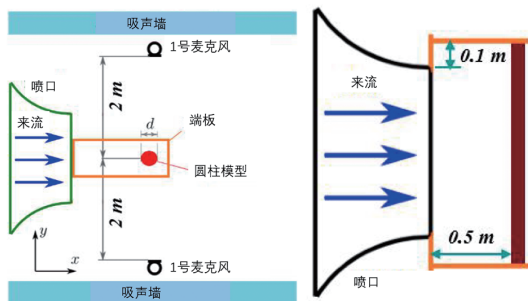


图 3 实验中麦克风位置安放图

1.4 喷胶棉和海藻绵参数

本文采取的软性材料为喷胶棉和海藻绵, 具体参数见表 1。

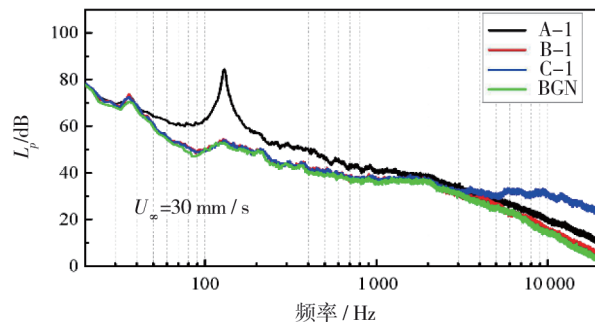
表 1 本文圆柱实验模型及喷胶棉和海藻绵参数

编号	描述	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	内直径 d/m	外直径 D/m
A-1	光滑		0.05	A-1
A-2	光滑		0.06	A-2
A-3	光滑		0.08	A-3
B-1	喷胶棉	0.02	0.05	B-1
B-2	喷胶棉	0.03	0.06	B-2
B-3	喷胶棉	0.04	0.08	B-3
C-1	海藻绵	0.02	0.05	C-1
BGN	背景噪声			BGN

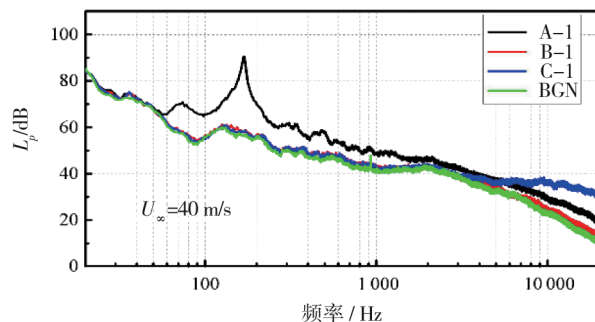
2 实验结果与分析

2.1 声场结果

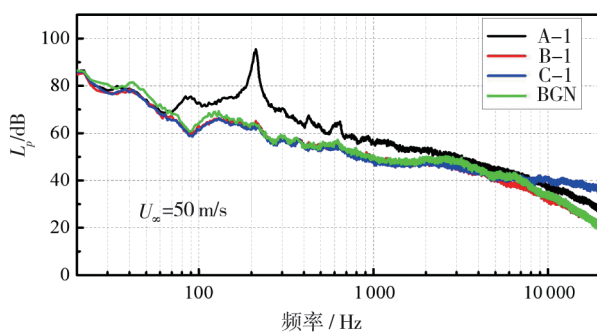
图 4 给出了单个麦克风在不同风速下测得的覆盖喷胶棉和海藻绵后 0.05 m 直径支柱的频谱特性。可以看到, 在各个风速下, 覆盖喷胶棉和海藻绵都能完全消除由支柱涡脱落引起的纯音噪声。覆盖喷胶棉能完全消除支柱在整个宽频段内的气动噪声, 覆盖海藻绵在 5 kHz 以上的部分产生了额外的高频噪声, 且风速越大, 该噪声的初始频率越高。



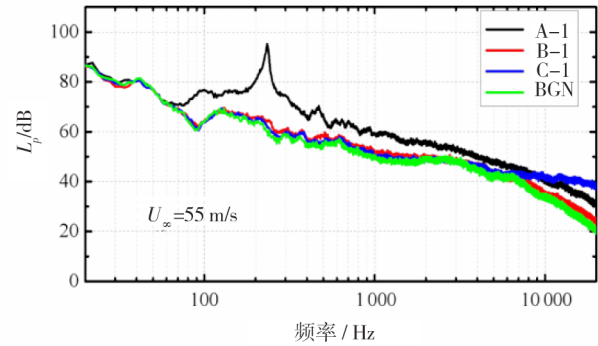
(a) 来流速度为 30 m/s



(b) 来流速度为 40 m/s



(c) 来流速度为 50 m/s

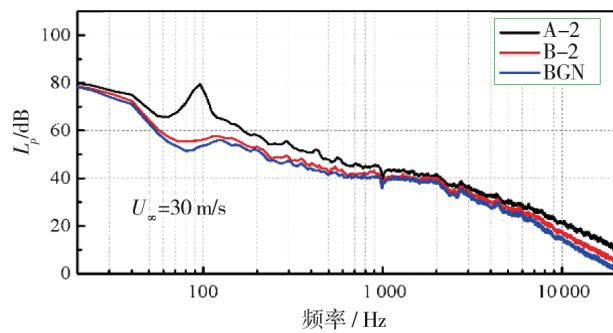


(d) 来流速度为 55 m/s

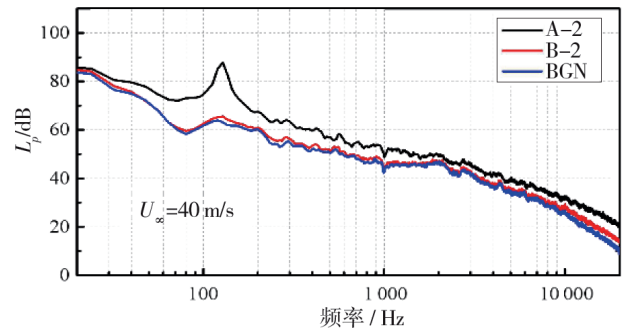
图 4 覆盖喷胶棉和海藻绵后直径 0.05 m 支柱的声谱特性

为了观察具有最好降噪效果的喷胶棉是否对于多种直径的支柱均有效果,将其覆盖在 0.03 m 和 0.04 m 支柱外进行了远场噪声测试。图 5 和图 6 分别给出了 0.03 m 支柱和 0.04 m 支柱覆盖喷胶棉后在不同风速下的声压级频谱特性。

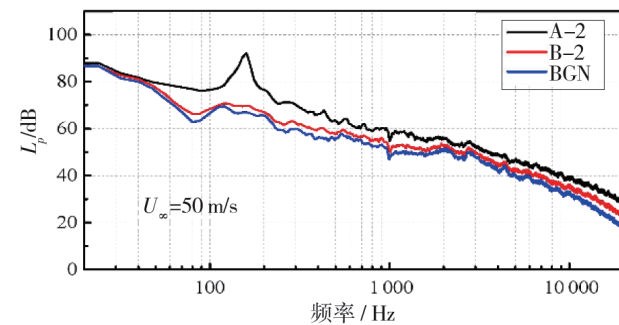
从图 5 可以看出,将喷胶棉覆盖在直径为 0.03 m 的支柱上,虽然涡脱落引起的单音噪声被抑制,尖峰消失,但宽带噪声并不能完全消除。B-2 模型远场噪声在低于 1 kHz,高于 5 kHz 的频段依然明显高于背景噪声,但高频噪声显然低于光滑支柱。图 6 的现象与图 5 基本一致。



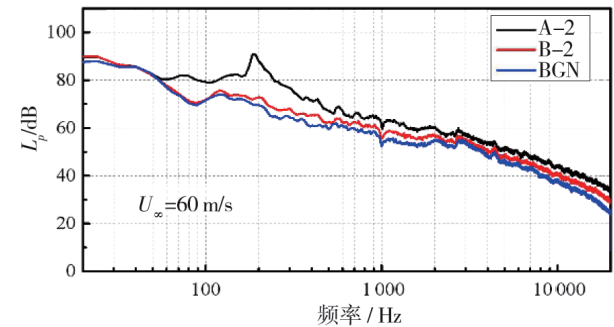
(a) 来流速度为 30 m/s



(b) 来流速度为 40 m/s



(c) 来流速度为 50 m/s



(d) 来流速度为 60 m/s

图 5 覆盖喷胶棉和海藻绵后直径 0.06 m 支柱的声谱特性

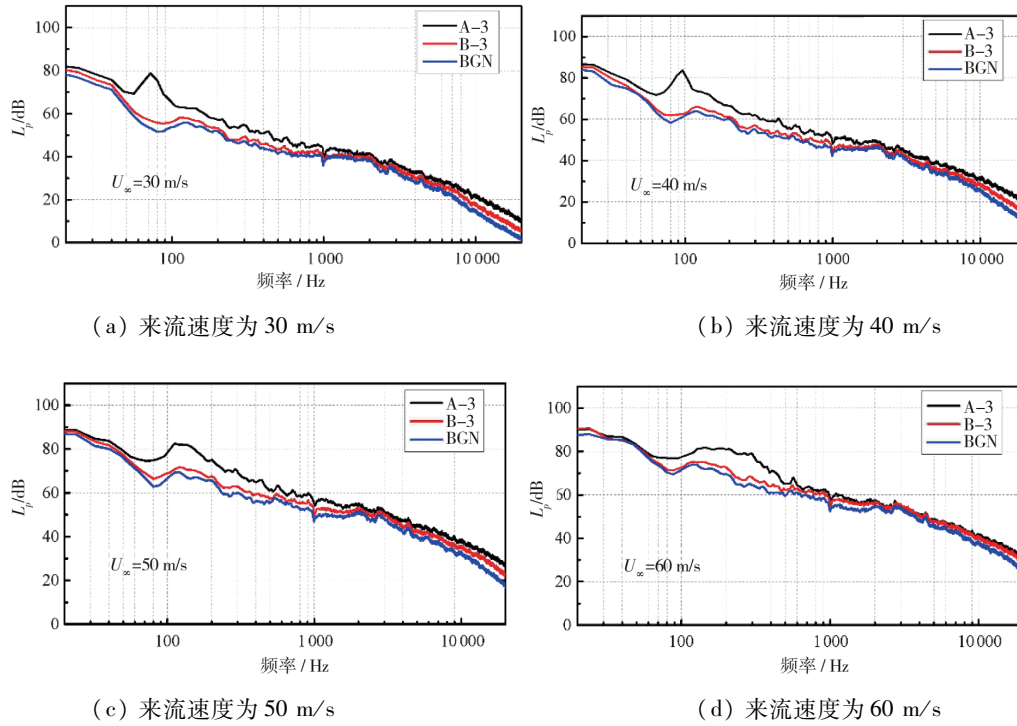
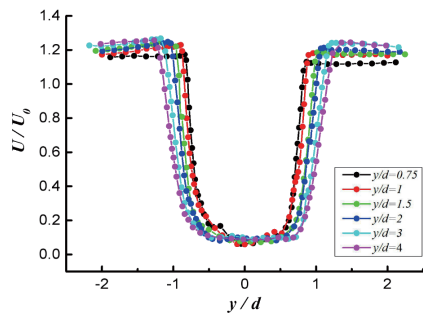


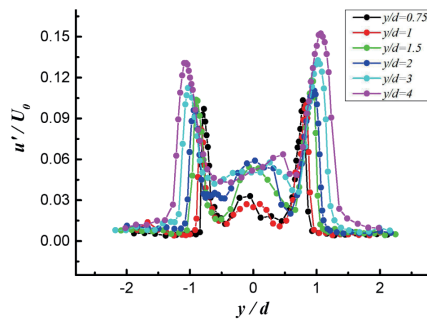
图6 覆盖喷胶棉和海藻绵后直径 0.08 m 支柱的声谱特性

2.2 尾迹速度测试 results 分析

在来流风速为 30 m/s 下,对 $D = 14$ mm 的圆柱进行速度测试。图 7 和图 8 分别为覆盖喷胶棉支柱在不同流向位置(y/d)的流向速度和横向速度的展向分布。

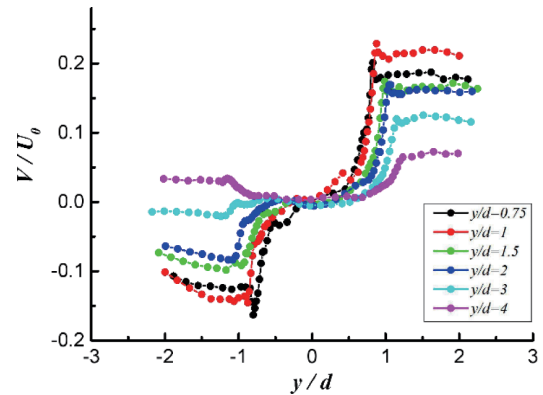


(a) 无量纲流向速度

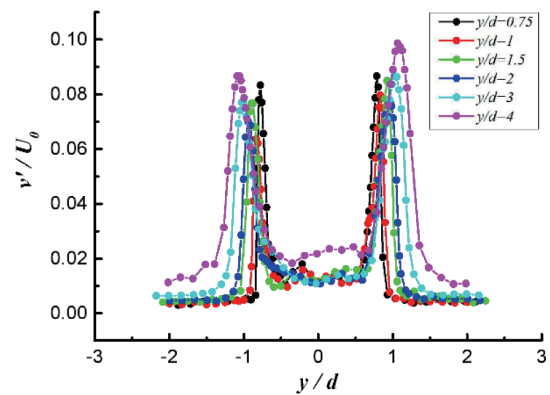


(b) 无量纲流向脉动速度

图7 无量纲流向速度与脉动速度



(a) 无量纲横向速度

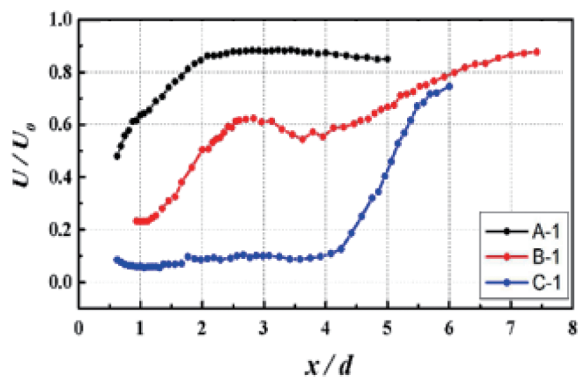


(b) 无量纲横向脉动速度

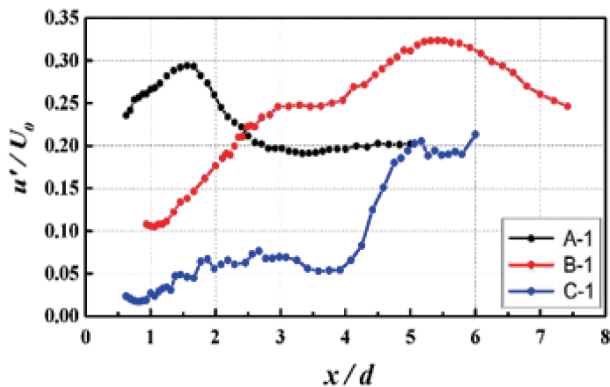
图8 无量纲横向速度与脉动速度

由图 7 和 8 可以看出,以光滑支柱的尾迹流动结构对比来看,相比较而言,多孔柱体尾迹区域速度明显减小,尾迹被拓宽,回流区从 $y = \pm 0.5 d$ 拓宽至 $y = \pm 1 d$ 。并且直至测量的 $y/d = 4$ 时,依然存在着很强的气流剪切,表明此时还未出死水区,说明多孔材料使得支柱尾流沿主流方向被拉长。从脉动量来看,剪切作用最强的区域脉动量最大,其关于流向的性质保持在支柱绕流死水区之内。 V 向的平均速

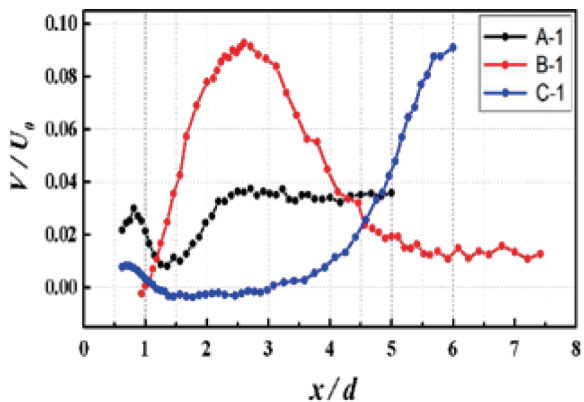
度基本关于原点反对称。通过图 7 和图 8 中流向和横向速度脉动曲线可以看出,覆盖喷胶棉支柱流向(U)和横向(V)的速度脉动均明显降低,流向速度脉动双峰间距增大,横向速度脉动单峰向双峰转化,再次说明了软性材料表面使得支柱尾迹区域被拓宽。并且,光滑支柱侧向速度脉动沿主流方向先增大后减小,而覆盖喷胶棉的支柱在所测范围内一直增大。这表明软性材料使得涡脱落的位置延后。



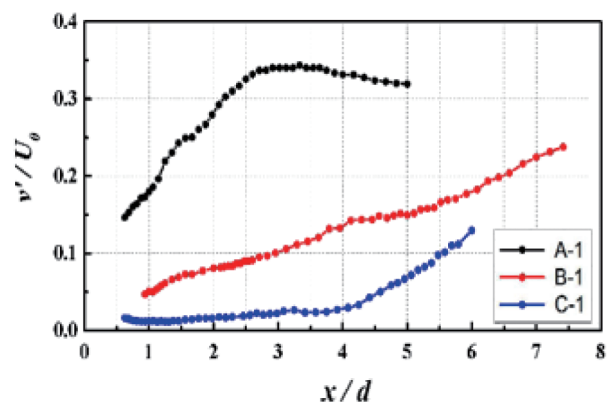
(a) 无量纲流向速度



(b) 无量纲流向脉动速度



(c) 无量纲横向速度



(d) 无量纲横向脉动速度

图 9 圆柱尾迹对称轴上速度沿流向分布 ($D = 14 \text{ mm}$, $U = 30 \text{ m/s}$)

一般,涡在尾迹中的形成位置用于衡量涡形成长度,可以被定义为沿着支柱后方中心线流向速度脉动的第一个峰值到模型中心的距离。该值影响尾迹的压力分布和对柱体的作用力。图 9 中显示本次实验测得覆盖软性材料后涡形成长度由光滑支柱的 $1.6 d$ 延长至 $5.4 d$ (喷胶棉) 和 $5.2 d$ (海藻绵)。这表明覆盖软性材料使得涡脱落的位置延后,软性材料削弱了剪切层的不稳定性,使得涡脱落位置延后,增大了涡形成长度。

4 结论

在北航 D5 气动声学风洞中,对覆盖软性多孔材料的起落架支柱模型进行了声学测量。实验使用了喷胶棉和海藻绵 2 种软性多孔材料覆盖在支柱外表面,采用自由场传声器获取远场声谱特性,其声谱结果显示覆盖喷胶棉和海藻绵,能使支柱单音完全消失,但海藻绵会引起高频噪声增加。最优秀的降噪材料喷胶棉,能完全抑制单音噪声

和完全消除宽带噪声。分析原因,认为软性多孔材料使得支柱尾迹区两侧剪切层变得细长,减小了尾迹区的涡形成长度,从而削弱了剪切层之间的相互作用。

参考文献:

- [1] 张卫民, 郝璇, 陈大斌, 等. 大型客机气动噪声预测[J]. 航空制造技术, 2010, (14): 66-69.
- [2] NISHIMURA M, KUDO T. Aerodynamic noise reducing techniques by using pile-fabrics: 5th AIAA/CEAS aeroacoustics conference[C], USA; [s. n.], 1999.
- [3] NISHIMURA G. Aerodynamic noise reduction by pile fabrics[J]. Fluid Dynamics Research, 2010;1-17.
- [4] SUEKI T, TAKAISHI T, IKEDA A, et al. Application of porous material to reduce aerodynamic sound from bluff bodies[J]. Fluid Dynamics Research, 2010, 42(1): 1-8.
- [5] GEYER T F, ENNES S. Circular cylinders with soft porous cover for flow noise reduction[J]. Experiments in Fluids, 2016;30-46.
- [6] LAURA K, GEYER T F. et al. Vortex shedding noise of a cylinder with hairy flaps[J]. Journal of Sound and

Vibration, 2017;69-84.

- [7] 魏峥, 夏超, 袁海东, 等. 覆盖多孔介质的圆柱尾迹实验研究[J]. 空气动力学学报, 35(2): 265-270.
- [8] LIU H R, WEI J J, Qu Z G. Prediction of aerodynamic noise reduction by using open-cell metal foam[J]. Prediction of aerodynamic noise reduction by using open-cell metal foam 2012, 331(7): 1483-1497.

作者简介

武天皓 女, 硕士。主要研究方向: 钝体绕流气动噪声机理及降噪技术。E-mail: a741108712@163.com

郭 昊 男, 副教授, 博士生导师。主要研究方向: 湍流理论及飞机减阻降噪流动控制技术研究等领域。E-mail: guohao@buaa.edu.cn

陈 旭 男, 硕士。主要研究方向: 多孔介质降噪技术。E-mail: tutyrp@163.com

刘沛清 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 旋涡分离流与流动控制、飞行器大迎角空气动力学、鸭式布局涡系干扰与控制、高速层流控制技术、现代轻质高效螺旋桨设计与优化、飞行器低 Re 数流动机理与控制、大型飞机起飞着陆气动性能、水上迫降性能、气动噪声研究等领域。E-mail: lpq@buaa.edu.cn

Experimental investigation on Reduction of cylinder noise by soft porous material

WU Tianhao GUO Hao CHEN Xu LIU Peiqing *

(Lu Shi Jia Laboratory, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The aerodynamic noise generated by the flow around a bluff body can be reduced by covering the surface of the object with soft porous materials. In order to verify the effectiveness of this method, aeroacoustic measurement experiments were carried out in the D5 aeroacoustic wind tunnel of Beihang University, covering the surface of cylinders with different soft porous materials under different wind speeds. The results show that the aerodynamic noise generated by the cylinder can be reduced by covering the surface of the cylinder with soft materials. The flow field results show that the soft materials prolong the wake of the cylinder and inhibit the vortex shedding at the rear edge of the cylinder.

Keywords: bluff body noise; flexible material; sound absorption and noise reduction

* Corresponding author. E-mail: lpq@buaa.edu.cn